Emisión termoiónica en el vacío: Polaridad y carga específica de los portadores

Objetivos del experimento

- Determinación de la polaridad de los portadores de carga emitidos por un cátodo calentado.
- Estimación de la carga específica de los portadores de carga emitidos.

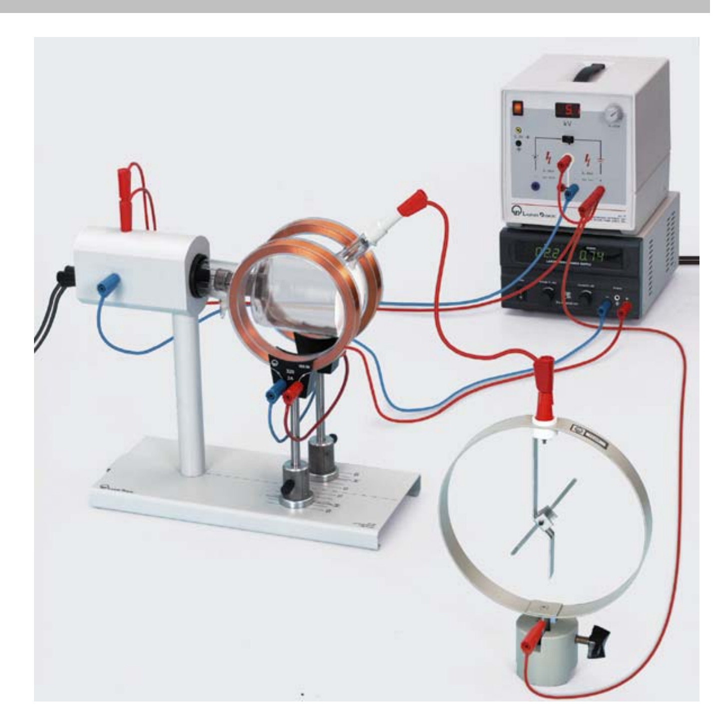
Fundamentos

Con un tubo de Perrin se pueden estudiar diferentes propiedades de los rayos catódicos. En los experimentos con los tubos diodo, triodo y el tubo con cruz de Malta se estudió cualitativamente la existencia de los rayos catódicos, su propagación en línea recta en el espacio libre y su desviación bajo campos eléctricos y magnéticos.

En el tubo de Perrin se pueden desviar rayos catódicos, mediante un campo eléctrico o magnético, en un vaso de Faraday que hace un ángulo de 45° respecto al rayo electrónico y se carga por acción de los rayos catódicos. Con un electroscopio se muestra la existencia de la carga. La polaridad de la carga también puede ser determinada comparándola con otra carga de signo conocido. Si la desviación es causada por un campo de intensidad conocida, entonces también se puede estimar la carga específica a partir de la tensión de aceleración U_A y de los datos geométricos del tubo.

En el tubo de Perrin los electrones que salen de un cátodo calentado son acelerados por una alta tensión aplicada entre cátodo y ánodo. Un haz de electrones fino, generado a través de un diafragma con agujero en el ánodo, incide en la parte delantera del tubo sobre una capa fluorescente y puede verse como una pequeña mancha luminosa verde. Mediante placas de deflexión, directamente detrás del ánodo, el rayo electrónico es desviado electrostáticamente en un plano horizontal. Un campo magnético desvía los electrones verticalmente hacia arriba hacia un vaso de Faraday, orientado en 45° respecto al eje del rayo, el cual se carga.

En el experimento se estudia con detalle las propiedades de los rayos catódicos. Primero se determina la polaridad de los portadores de carga mediante la comparación con una carga de polaridad conocida. Para ello, un par de bobinas de Helmholtz, montadas en paralelo al rayo catódico, generan un campo magnético que desvían el rayo hacia arriba. El rayo incide sobre el vaso de Faraday. La desviación es causada por la fuerza de Lorentz $\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$ sobre los portadores de carga y se aplica perpendicular tanto a la dirección de movimiento de los portadores de carga como a las líneas de campo magnético. Si el vaso de Faraday está conectado con un electroscopio previamente cargado con una carga de polaridad conocida, se puede deducir la polaridad de los portadores según cómo cambie la deflexión.



También es posible estimar la carga específica de los portadores de carga. El campo magnético desvía al rayo hacia una trayectoria circular. El radio de esta trayectoria está determinado por la velocidad de los electrones y la intensidad del campo magnético. Cuando el rayo incide sobre el vaso de Faraday, el radio de la trayectoria (en el experimento es r = 16 cm) queda prefijado por la geometría del tubo y las bobinas. La carga específica se estima entonces a partir de la tensión anódica aplicada U_A y del campo magnético B mediante la siguiente expresión:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U_A}{(B \cdot r)^2}$$

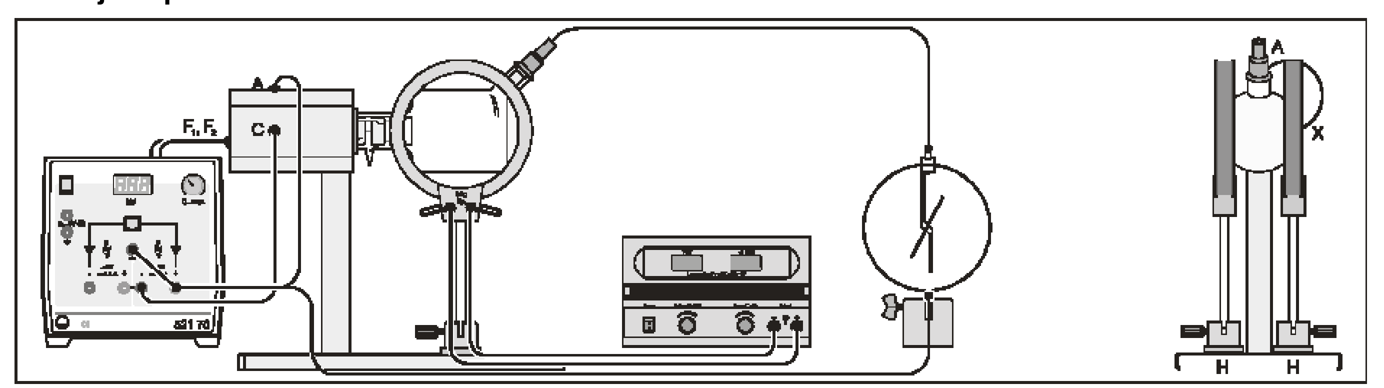
La densidad de flujo magnética B puede ser calculada a partir de la corriente que fluye por el par de bobinas de Helmholtz mediante:

$$B = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{N \cdot I}{R}$$

donde N = 320 es el número de espiras, R = 6,7 cm es el radio medio de las bobinas e I es la corriente aplicada.

LD Didactic GmbH · Leyboldstraße 1 · D-50354 Hürth / Alemania · Teléfono (02233) 604-0 · Fax: (02233) 604-222 · e-mail: info@ld-didactic.de

Montaje experimental:



Materiales

1 tubo de Perrin	555 622
1 portatubo	555 600
1 par de bobinas de Helmholtz	555 604
1 fuente de aliment. de alta tensión de 10 kV	521 70
1 fuente de alimentación de c.c. 0...16 V, 5 A	521 545
1 electroscopio	540 091
1 base	300 11
1 cable de alta tensión	501 05
1 cable de exper. de seguridad, 25 cm, rojo	500 611
2 cables de exper. de seguridad, 50 cm, rojos	500 621
1 cable de exper. de seguridad, 50 cm, azul	500 622
4 cables de exper. de seguridad, 100 cm, rojos	500 641
2 cables de exper. de seguridad, 100 cm, azules	500 642
2 cables de exper. de seguridad, 100 cm, negros	500 644

Instrucciones de seguridad:

¡El tubo de Perrin es un tubo de vidrio de vacío y de paredes delgadas, hay peligro de implosión!

¡Tenga cuidado, cuando el tubo está funcionando se están aplicando tensiones peligrosas al contacto!

- El tubo no debe estar sometido a cargas mecánicas.
- Conecte el tubo de Perrin sólo con los cables de seguridad especiales para la experimentación.
- Siga al pie de la letra las instrucciones de servicio del Tubo de Perrin (555 622) y del Portatubo (555 600).

Montaje:

Para el montaje del experimento (véase la figura de arriba) es necesario que realice los siguientes pasos:

- Instale cuidadosamente el tubo de Perrin en el portatubo.
- Para la calefacción del tubo conecte las hembrillas F_1 y F_2 del portatubo a la salida posterior de la fuente de alimentación de alta tensión de 10 kV.
- Conecte la hembrilla C del portatubo (casquillo del cátodo del tubo) al polo negativo y la hembrilla A (ánodo) al polo positivo de la fuente de alimentación de 10 kV y adicionalmente ponga a tierra el polo positivo.
- Una la hembrilla X (placas de deflexión) con la hembrilla A (ánodo).
- Monte el par de bobinas de Helmholtz en las posiciones marcadas con H (geometría de Helmholtz) del portatubo. Una ligera desviación de la geometría de Helmholtz conduce a un error sistemático en el cálculo del campo magnético; por ello, mantenga la desviación lo más pequeña posible. Ajuste la altura de las bobinas de tal forma que el centro de las bobinas se encuentre a la altura del eje del haz. Conecte las bobinas en serie a la fuente de tensión continua, de tal forma que la corriente indicada en la fuente de tensión corresponda a la corriente que fluye por las bobinas. Tenga presente que la corriente circule por las bobinas en el mismo sentido.
- Conecte el electroscopio al vaso de Faraday y adicionalmente ponga a tierra el soporte del electroscopio.

Realización del experimento

- Encienda la fuente de alimentación de alta tensión. El cátodo empezará a calentarse.
- Elija una tensión anódica entre 2,5 y 5 kV. En la pantalla aparecerá una pequeña mancha verde luminosa.

Determinación de la polaridad de los portadores de carga

- Cargue negativamente al electroscopio por corto tiempo uniendo, con el cable de alta tensión, el polo negativo de la fuente de alimentación de alta tensión con el electroscopio.
- Aumente lentamente el campo magnético incrementando la corriente de las bobinas hasta que el haz de electrones incida exactamente en el vaso de Faraday. Al mismo tiempo observe el electroscopio.

Estimación de la carga específica

- Cuando el haz de electrones incide exactamente sobre el vaso de Faraday, lea los valores de la corriente I que circula por el par de bobinas de Helmholtz y la tensión anódica U_A.

Ejemplo de medición y evaluación

Se precarga al electroscopio con carga negativa, la aguja del electroscopio se desvía.

Se aumenta lentamente el campo magnético incrementando la corriente de las bobinas, la manchita verde de la pantalla se desplaza hacia arriba. Cuando el haz electrónico incide sobre el vaso de Faraday la desviación en el electroscopio aumenta. Los portadores tienen entonces la misma polaridad, es decir, se cargan negativamente.

El haz de electrones incide sobre el vaso de Faraday para una corriente de bobinas I = 0,34 A y una tensión del cátodo U_A = 3,5 kV. La carga específica viene dada por:

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_A}{(r \cdot B)^2} \text{ con } B = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{N \cdot I}{R} .$$

A partir de los valores U_A = 3,5 kV, r = 16 cm, $\mu_0 = 1{,}26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$, N = 320, I = 0,34 A y R = 6,7 cm resulta para la carga específica:

$$\frac{e}{m_e} = 1{,}28 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

El valor así obtenido para la carga específica es menor que el valor encontrado en la bibliografía $\frac{e}{m_e} = 1{,}7588 \cdot 10^{11} \frac{\text{As}}{\text{kg}}$, una diferencia de aprox. 27 %.

Una causa del error proviene del supuesto que el campo magnético entre las bobinas de Helmholtz es homogéneo y puede ser calculado mediante $B = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{N \cdot I}{R}$. Sin embargo, esta condición se cumple perfectamente sólo en una zona $\pm\frac{R}{2}$ alrededor del centro. A partir de aquí el campo magnético disminuye uniformemente hacia afuera y alcanza el valor cero justo fuera de las bobinas. El electrón se mueve primero en una zona con campos magnéticos pequeños y por tanto en una trayectoria con un radio mayor.

Sólo al alcanzar la distancia $\frac{R}{2}$ al centro, el campo magnético tiene el valor que la geometría de Helmholtz determina. Después de que el electrón pasa por la zona con campo magnético homogéneo en el centro, alcanza la zona con campo magnético decreciente. De aquí que el campo magnético sea sistemáticamente sobreestimado en el cálculo de la carga específica; el error encontrado es de un 10 %.

Una diferencia adicional respecto al valor de la bibliografía, ocurre en la medición de la geometría de Helmholtz. Si por ejemplo en lugar de la distancia óptima a = 6,7 cm se ajusta a^* = 7,3 cm, esto conduce igualmente a un campo menor en la zona del haz electrónico; el error aquí es de 6 %.

La determinación exacta de la carga específica sin términos de corrección puede conseguirse con el tubo de rayo electrónico filiforme (555 571). En este caso las bobinas de Helmholtz están dimensionadas, de tal forma que en la zona del recorrido del rayo predomina un campo homogéneo, el cual puede ser calculado correctamente con:

$$B = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{N \cdot I}{R}$$

Además la distancia entre las bobinas viene prefijada y por ello no hay posibilidad para una desviación involuntaria de la geometría de Helmholtz.

LD Didactic GmbH · Leyboldstraße 1 · D-50354 Hürth / Alemania · Teléfono: (02233) 604-0 · Fax: (02233) 604-222 · e-mail: info@ld-didactic.de